Über das Keimen von Samen in reinem Sauerstoffgase.

Von Dr. **Jos. Boehm.**

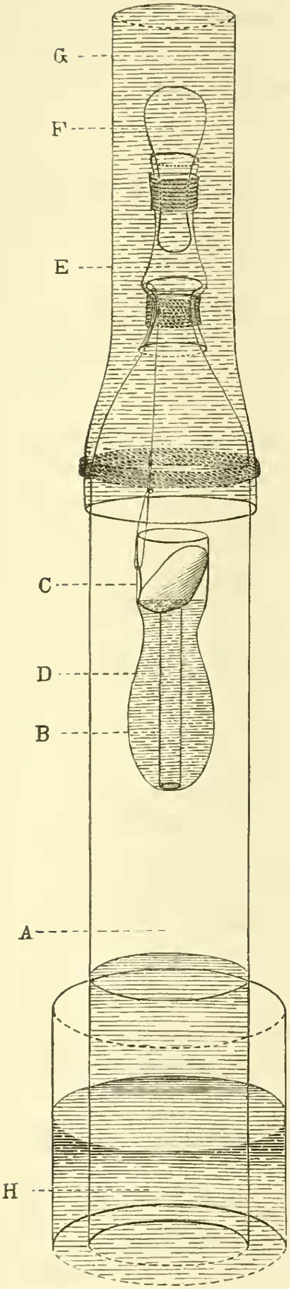
(Mit 3 Holzschnitten.)

Bei Versuchen, welche ich über die Grösse und Art und Weise der Sauerstoffconsumtion keimender Bohnen in atmosphärischer Luft machte, lag es nahe zu untersuchen, ob und inwieferne diese Function bei Anwendung von reinem Sauerstoffgase modificirt werde. Ich ging von der Voraussetzung aus, dass in letzterem Falle unter sonst gleichen Verhältnissen die Menge des verbrauchten Sauerstoffes eine viel bedeutendere und dem entsprechend auch das Wachsthum der Keimpflanzen ein viel beschleunigteres sein würde. Diese Vermuthung wurde aber zu meiner nicht geringen Überraschung durch den Versuch weder nach der einen noch nach der andern Seite hin bestätiget.

Über den Sauerstoffverbrauch keimender Samen werde ich bei einer anderen Gelegenheit berichten. Zum Studium der Wachsthumserscheinungen verwendete ich vorerst Samen von *Phaseolus multiflorus*. Nach zahlreichen Vorversuchen wurden die Schlussversuche mit denselben, anfangs März dieses Jahres, in sechs Apparaten von aus untenstehender Figur ersichtlicher Construction gemacht. *A* ist eine tubulirte Glasglocke von 600—700 CC. Inhalt. *B* stellt das zur Aufnahme der Bohne bestimmte Gefässchen dar. Dieses ist im oberen Drittheil halsartig verengert und hat in einiger Entfernung vom Rande eine seitliche Öffnung *C* zum Ausflusse des Wassers.

Um ein Einklemmen des Samens in den Hals dieses Gefässes zu verhindern, ist in selbes eine cylindrische Glasröhre *D* von geeigneter Weite und Länge eingesenkt, so dass die Bohne, wenn das Apparatchen aus dem Wasser gehoben wird, noch theilweise benetzt bleibt. Dieses mit der Bohne beschickte Gefässchen wurde mittelst eines Messingdrahtes in den Tubus der

Fig. 1.



Glocke *A* gehängt, sodann das Kautschukrohr *E* aufgesetzt und mittelst eines Bindfadens befestiget. Hierauf wurde die Glocke voll mit eben ausgekochtem und abgekühltem Wasser gesaugt und das obere Ende des Kautschukschlauches mit einem passenden Glasstäbchen *F* verschlossen. Die wassererfüllte Kautschukhülse *G* hat den Zweck, die Gasdiffusion durch *E* zu hindern oder doch bis zu einem Minimum zu verringern. — Nachdem die Glocke mit directe aus chlorsaurem Kali entwickelten Sauerstoffgase gefüllt war, wurde sie mittelst eines geeigneten Schälchens aus dem Wasser gehoben, in die Quecksilberwanne übertragen, durch Neigung derselben ein Theil des Gases ausgelassen, dieses durch concentrirte Kalilauge ersetzt und dann mittelst eines Trinkglases von passender Grösse *H* aus dem Quecksilber gehoben. Diese gefüllten Apparate wurden bei einer Temperatur von 15—18° C. an einen dunklen Ort (in einen Kasten meines Zimmers) gestellt. In Folge des Sauerstoffverbrauches stieg natürlich das Quecksilber in den Glocken *A*. Während der ganzen Versuchsdauer wurde das verschwundene Gas 7mal wieder ersetzt.

Um ein Mass für die Intensität des Wachsthums der Bohnen unter sonst gleichen Verhältnissen, aber in atmosphärischer Luft zu haben, wurden sechs Bohnen in ganz gleiche, mit gewöhnlicher Luft gefüllte und mit Kalilauge abgesperrte Apparate (bei welchen nur die Kautschukhülsen *G* weggelassen wurden) gebracht und die Luft in ihnen täglich erneuert.

Zu diesen und allen folgenden Versuchen wurden Bohnen gewählt, deren Gewicht im lufttrockenen Zustande zwischen 1·2 und 1·4 Grm. betrug. Die Samen wurden stets 8—10 Stunden vor ihrer Verwendung unter Wasser getaucht und dann vorsichtig ihrer Schalen entkleidet. Samen, welche im Wasser nicht untersanken, wurden gleich eliminirt.

Die Fortschritte der Keimung wurden genau protokollirt; es dürfte jedoch überflüssig sein, die Details des in bestimmten Intervallen erfolgten Zuwachses hier genau anzuführen.

Schon am zweiten Tage war der Unterschied in der Wurzelentwicklung bei den in atmosphärischer Luft und den in reinem Sauerstoffe befindlichen Samen ein auffälliger; die Würzelchen der letzten hatten kaum die halbe Länge der ersten. — Diese Differenz in der Entwicklung wurde von Tag zu Tag auffälliger. Bei Schluss des Versuches, nach 28 Tagen, waren die Cotylen der in atmosphärischer Luft gezogenen Keimlinge stark eingeschrumpft. Bei überall reichlicher Wurzelbildung variirten die Stengellängen von 37—41 Ctm. — Von den Keimlingen in Sauerstoff waren nach 4 Wochen vier bereits todt, die Cotylen derselben theilweise morsch und die neugebildeten Organe abgestorben; die zwei anderen Individuen (α und β) hatten ein ganz gesundes Aussehen. Die fast unverzweigte hypocotyle Achse mass bei α) 3·7, bei β) 4·2 Ctm. Die Stengellänge betrug bei α) 1·8, bei β) 2·7 Ctm. — Bei beiden dieser Keimlinge vertrockneten dann in freier Luft die Endknospen, während in den Cotylenachseln sich Zweige entwickelten. Ebenso starben die Spitzen der Hauptwurzeln ab, dafür erzeugten sich aber zahlreiche Nebenwurzeln.

Bei einer anderen, ganz ähnlichen, ebenfalls mit sechs Bohnen gemachten Versuchsreihe im Monate Mai, während welcher jedoch die Temperatur etwas höher war (sie betrug 19°—23° C.) erreichten die Wurzeln (d. i. hypocotylen Achsen) höchstens eine Länge von 4·2 und die Stengel eine solche von 1·6 Ctm. Nach 13 Tagen war kein einziger Cotyledon mehr ganz gesund; auch die vier, scheinbar noch lebenden Keime verfaulten in freier Luft.

Es handelte sich nun vorerst darum, durch den Versuch zu entscheiden, ob die retardirende Wirkung des reinen Sauerstoffgases auf keimende Bohnen beschränkt sei oder ob sich auch die

Samen anderer Arten und insbesondere solcher, bei denen die Reservestoffe nicht in Form von Stärke vorhanden sind, in ähnlicher Weise verhalten. Ich verfuhr daher so:

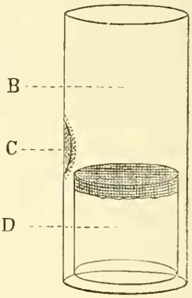
Samen von *Lepidium sativum, Linum usitatissimum, Helianthus annuus, Avena sativa, Hordeum vulgare, Secale cereale, Triticum vulgare, Ervum Lens, Pisum sativum, Phaseolus multiflorus* wurden in kleinen Glascylindern auf gehörig befeuchtete Lager von Filtrirpapier gebaut und nebst einem U-förmigen Manometer und einem Gefässe mit Kalilauge auf einem Eisendrahtgestelle unter einen grossen, 77 Ctm. hohen und 15 Ctm. weiten Recipienten der Luftpumpe gebracht. Der verwendete Luftpumpenteller war so eingerichtet, dass nach Evacuirung des Recipienten dieser vermittelst eines eigenen Hahnes mit einem beliebigen Gase gefüllt werden konnte. — Nachdem die atmosphärische Luft ausgepumpt war, wurde der Recipient wiederholt mit Sauerstoff ausgewaschen und dann, mit diesem Gase gefüllt (natürlich sammt dem abgenommenen Teller) bis einige Centimeter über den Rand in Wasser gestellt. Der verbrauchte Sauerstoff wurde jeden zweiten Tag wieder ersetzt. Dieses geschah vermittelst eines Kautschukschlauches, welcher einerseits mit dem (abgeschlossenen) Hahn des Luftpumpentellers und anderseits mit dem sauerstofferfüllten Gasometer während der ganzen Versuchsdauer in Verbindung blieb.

Das Resultat dieses (in der ersten Hälfte des April l. J. gemachten) Versuches stimmte nur theilweise mit dem bei dem früheren, analogen Versuche gewonnenen überein. Blos bei *Zea, Ervum* und *Pisum* kam, sowie bei *Phaseolus multiflorus*, die Entwicklung der Keime über die ersten Stadien der Wurzel- und Stengelbildung nicht hinaus. Die *Lepidium-, Linum-* und *Helianthus*-Pflänzchen blieben wohl durchschnittlich kleiner als die in freier Luft gezogenen, bei einzelnen Individuen dieser Art entwickelt sich aber die hypocotyle Axe nicht ganz unbedeutend. Bei den vier angeführten Getreidearten jedoch erreichten die Blätter die normale Länge vergeilter Keimlinge.

Bei diesen Operationen mittelst der Luftpumpe, wo man mit einer grossen Wassermenge arbeiten muss, ist es geradezu unmöglich, völlig oder doch fast völlig reines Sauerstoffgas zu ver-

wenden. Ich habe die genannten Versuche mit den oben angeführten kleinen Samen daher (in der zweiten Aprilhälfte) in dem Fig. 1 abgebildeten Apparate gemacht, statt des Gefässes *B* aber eines von der beistehenden Figur 2 benützt. *D* ist ein geeignet weiter Glasring, welcher an seinem oberen Ende, sowie die seitliche Öffnung *C* in *B* (um das Herausschwemmen der kleinen Samen während der Füllung des Apparates zu verhindern), mit angesiegeltem Tüll verschlossen ist. Dieser möglichst enge an *B* anliegende Glasring *C* muss so hoch sein, dass die Tüllfläche mit dem unteren Rande der Öffnung *C* in derselben Ebene liegt. Auf diese Weise erreicht man es, dass selbst sehr kleine Samen nach Füllung der Röhre *A* mit dem betreffenden Gase nur auf ihrer Unterseite von Wasser benetzt bleiben.

Fig. 2.



Die Resultate, welche ich in sechs solchen (mit möglichst reinem Sauerstoffgase gefüllten) Apparaten mit den angeführten Samen erhielt, harmonirten vollständig mit jenen, welche sich bei den correspondirenden Versuchen mittelst der Luftpumpe ergaben.

Diese nun ganz merkwürdige Thatsache, dass bei ungeändertem Sauerstoffverbrauche die Keimung, in diesem Gase für sich, in der Regel nur auf die ersten Anfänge beschränkt bleibt, zwingt zu der Frage, welche Bedeutung denn beim Wachsthume der Pflanzen auf Kosten von Reservestoffen dem atmospärischen Stickstoffe zukommt. War an eine Assimilation desselben auch nicht von ferne zu denken, so musste doch erst der directe Versuch lehren, wie sich keimende Samen in zum grössten Theile aus Sauerstoff und e t w a s Stickstoff bestehender Atmosphäre verhalten würden.

Diese Versuche machte ich (in der ersten Hälfte des Monats Mai) nur mit *Phaseolus multiflorus*. Es wurden sechs von den oben beschriebenen Apparaten mit 8—10 Proc. stickstoffhaltigem Sauerstoffe gefüllt. — Die Bohnenkeimlinge entwickelten sich wohl etwas weiter als bei den Versuchen in reinem Sauerstoffgase, aber nicht viel; auch hier waren sie bereits am dritten Tage im Vergleiche zu denen in atmosphärischer Luft gezogenen sichtlich zurück. Nach 12 Tagen hatten letztere nebst zahlrei-

chen Wurzeln eine mittlere Stengellänge von 22 Ctm., während die in den Apparaten nur wenige Wurzeln und blos 2·5—4·3 Ctm. lange Stengel producirt hatten. Während der nächsten drei Tage wuchsen diese Pflänzchen nicht mehr. Sie wurden aus den Apparaten herausgenommen und an die freie Luft gesetzt. Bei drei Exemplaren waren die Cotylen bereits deutlich in Fäulniss übergegangen und auch bei den anderen drei Individuen die Endknospen abgestorben.

Die Ursache, warum die Entwicklung von Keimpflanzen in reinem Sauerstoffgase eine so unvollkommene ist, liegt also nicht im Mangel an Stickstoff an sich. Der atmosphärische Stickstoff kann somit nur die Rolle eines Verdünnungsmittels spielen und das gehinderte Wachsthum in reinem Sauerstoffe nur in der Dichte dieses Gases begründet sein.

Boussingault hat zuerst gezeigt, dass grüne Pflanzen in einer Atmosphäre von Stickstoff und Kohlensäure unter sonst geeigneten Bedingungen nicht mit grösserer Energie Sauerstoff bilden, als wenn der Stickstoff durch Wasserstoff ersetzt wird. Dies veranlasste mich zu folgenden Versuchen:

Es wurden am 15. Mai sechs der in Figur 1 abgebildeten Apparate mit einer aus 20—23 Proc. Sauerstoff und 77—80 Pct. Wasserstoff bestehenden Luftmischung gefüllt. In dieser entwickelten sich nun die Bohnenkeimlinge ganz so, wie die gleichzeitig und daneben in freier Luft gezogenen.

Dieses Versuchsresultat macht zweifellos, was nach dem früher Gesagten schon sehr wahrscheinlich war: dass die Ursache des gehinderten Wachsthumes in reinem Sauerstoffgase zunächst in dessen zu grosser Dichte besteht [1].

Es ist bekannt, dass sich Phosphor bei gewöhnlicher Temperatur in reinem Sauerstoffgase von gewöhnlicher Dichte nicht oxydirt, wohl aber, wenn dasselbe in hinreichendem Grade verdünnt wird. — Von dieser Thatsache ausgehend, hat Bous-

[1] Erst nachträglich fand ich folgende sehr bemerkenswerthe Stelle in Senebier's Physikalisch-chemischen Abhandlungen über den Einfluss des Sonnenlichtes auf alle drei Reiche der Natur und auf das Pflanzenreich insonderheit. Aus dem Französischen, Leipzig, 1785, zweiter Theil, p. 70: „In entzündbarer Luft, die rein ist, sterben die Pflanzen ab, weil sie darin nicht gleich fixe Luft antreffen, welche sich daraus niederschlagen kann.“

singault gezeigt, dass grüne Pflanzen in reiner Kohlensäure von gewöhnlicher Dichte nur wenig Sauerstoff bilden, dass die Zerlegung dieses Gases in reinem Zustande aber mit lebhafter Energie erfolgt, wenn dasselbe früher gehörig deluirt wurde [1].

Der Versuch über die Keimung von Samen in reinem verdünnten Sauerstoffgase wurden in derselben Weise und unter demselben Recipienten mit Samen von *Helianthus*, *Lepidium*, *Linum*, *Phaseolus*, *Pisum*, *Ervum* und *Zea* gemacht, wie der oben beschriebene Versuch in reinem Sauerstoffgase von gewöhnlicher Dichte [2]. Nach wiederholtem sorgfältigen Auswaschen des Recipienten mit Sauerstoff wurde von diesem Gase in der Glocke so viel belassen, dass dessen Dichte einem Drucke einer 150 Mm. hohen Quecksilbersäule entsprach, also dem Partialdrucke des Sauerstoffes in der Atmosphäre gleichkam.

Ich brauche wohl kaum zu bemerken, dass der so gefüllte Recipient sammt dem Teller auch bei diesem Versuche so tief in Wasser gestellt wurde, dass das Eindringen atmosphärischer Luft unmöglich war und dass derselbe, um den Gasdruck zu reguliren und ziemlich constant zu erhalten, mittelst eines Kautschukschlauches mit dem sauerstoffhältigen Gasometer in Verbindung blieb. — Das Ergebniss des Versuches bestätigte die gemachte Voraussetzung nur für *Phaseolus*, *Pisum*, *Ervum* und *Zea*: die Samen keimten und die Pflänzchen wuchsen ganz oder fast ganz so wie die daneben gestellten in atmospärischer Luft.

Die Versuche in mittelst der Luftpumpe verdünntem Sauerstoffe sind, besonders bei meinen beschränkten Mitteln, umständlich, und was die Reinheit des Gases anbelangt, jedenfalls, wie bemerkt, ungenau. Im Verlaufe des Monates Juni wiederholte ich dieselben mit den oben angeführten Samen in sechs Apparaten von der Construction Fig. 1, resp. 2, bei welchen die Röhren *A* jedoch mindestens die Länge von 130 Ctm. besassen. — Nachdem

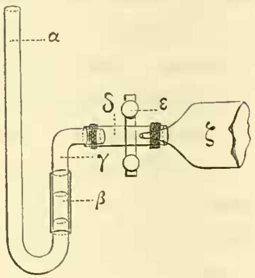
---

[1] Boussingault, compt. rend. tom. 60. pag. 876; 1865.

[2] Weitere Versuche mit *Avena*, *Hordeum*, *Secale* und *Triticum*, bei welchen die Blätter der vergeilten Keimpflanzen (alle Versuche wurden im Dunkel oder Halbdunkel gemacht), in reinem Sauerstoffgase von gewöhnlicher Dichte, wie ich schon oben hervorgehoben, die normale Länge erreichten, wurden für überflüssig erachtet.

der 63—65 Ctm. lange Schenkel α des U-förmigen Rohres Fig. 3 von unten her in das Rohr *A* eingeführt war, wurde dieses (mittelst einer Bunsen'schen Saugpumpe) zuerst ganz mit Wasser gefüllt, dann $^1/_5$ von dessen ganzem Inhalt frisch entwickelter Sauerstoff eingelassen und auf einer kleinen Schale in die Quecksilberwanne übertragen. Sodann wurde mittelst einer kleinen Handpumpe ζ das Wasser ausgesaugt. Es versteht sich von selbst, dass bei dieser etwas mühsamen Operation [1] der Quetscher ε nach jedem Kolbenzuge geschlossen und die Pumpe behufs ihrer Entleerung entfernt werden muss. Ebenso ist es klar, dass der mit dem Quetscher verschliessbare Kautschukschlauch δ ziemlich dickwandig sein muss, weil selber sonst, nachdem die Quecksilbersäule in *A* eine etwas beträchtlichere Höhe erreicht, zusammengedrückt würde. Ist die Quecksilbersäule auf etwa 60 Ctm. gehoben und das Wasser bis auf eine 2—3 Ctm. hohe Säule entfernt, so wird der äussere, im rechten Winkel gebogene Schenkel γ des U-förmigen Rohres aus der Kautschukverbindung β herausgenommen und zum Behufe der Absorption der bei der Keimung gebildeten Kohlensäure festes Ätzkali in der Quecksilbersäule aufsteigen gelassen. Um letztere immer auf ziemlich gleicher Höhe zu erhalten, leitet man täglich nach Bedarf ein- bis zweimal frisch entwickeltes Sauerstoffgas ein. — Um das Aufsteigen der Kalilauge an der inneren Röhrenwandung bis zu den Gefässen mit den Samen, resp. Keimpflanzen zu verhindern, wurde vor der Zusammenstellung jedes Apparates in der Röhre *A*, ungefähr 70 Ctm. von deren unteren Ende entfernt, ein Stückchen Paraffin geschmolzen und während des Erstarrens desselben die Röhre um ihre Längsachse gedreht.

Fig. 3.



Bei Versuchen mit diesen Apparaten erhielt ich dieselben Resultate wie in mittelst der Luftpumpe verdünntem Sauerstoffe.

---

[1] Diese kann man dadurch umgehen, dass man das Wasser der Röhre *A* Fig. 1 mit $^1/_5$ Sauerstoff und $^4/_5$ Kohlensäure verdrängt und letztere dann mit Ätzkali absorbirt.

Eine scheinbare Ausnahme machten die Bohnen und die Linsen. Die vergeilten Pflanzen aus diesen Samen hatten nämlich weit dickere Stengel als die in freier Luft gezogenen und waren dabei mannigfach hin und her gebogen. Ein gleiches war aber auch bei jenen Pflänzchen der Fall, welche in mit Wasserstoffe verdünntem Sauerstoffe oder in möglichst feuchter gewöhnlicher Luft gezogen wurden. Frei in die Luft gebracht, wachsen sie dann in normaler Weise weiter. Weitere Versuche zeigten, dass die auf einer festen Unterlage im Dunkeln sich entwickelnden Stengel der Bohnenkeimlinge zart und gerade sind, bei stützenlosem Wachsthume aber auch in gewöhnlicher Luft obige Form annehmen. Die in feuchter Atmosphäre, natürlich ebenfalls im Dunkeln cultivirten Bohnenkeimlinge besitzen wohl gerade Stengel, diese aber sind in der Regel stärker als bei jenen Pflanzen, welche aus gleich schweren Samen in trockener Luft gezogen wurden.

Ob die unvollständige Entwicklung etiolirter Keimpflanzen von *Helianthus*, *Lepidium* und *Linum* in verdünntem Sauerstoffgase vielleicht durch den geänderten Luftdruck bedingt sei, wage ich vorläufig nicht zu behaupten.

Vor Jahren habe ich gelegentlich meiner Versuche über die Ursache des Saftsteigens in den Pflanzen unter anderem auch viele Versuche gemacht über die Entwicklung von Weidenzweigen in gewöhnlicher Luft bei einem Überdrucke von 3—6 Atmosphären. Die dabei erhaltenen Resultate habe ich aus dem Grunde nicht veröffentlicht, weil ich einerseits mit denselben nichts anzufangen wusste, und weil ich anderseits leider immer vergebens hoffte, unter günstigeren Verhältnissen die Arbeit wieder aufnehmen zu können. Die in Wasser getauchten Stecklinge kommen nämlich in einer solchen Atmosphäre über die ersten Anfänge der Wurzelbildung und Knospenentfaltung nicht hinaus. Die Ursache dieser mir früher ganz räthselhaft gewesenen Erscheinung ist nun völlig klar: Die Entwicklung unterblieb deshalb, weil unter den hergestellten Bedingungen der Sauerstoff annähernd unter demselben partiären Drucke stand, unter welchem sich reines Sauerstoffgas bei gewöhnlichem Drucke befindet.

Aus den angeführten Versuchen ergibt sich die merkwürdige, in ihren Ursachen uns völlig räthselhafte Thatsache: dass das Wachsen von Pflanzen auf Kosten von Reservenahrung in reinem Sauerstoffe von gewöhnlicher Dichte in der Regel bis auf ein Minimum reducirt bleibt, dass dasselbe aber ebenso intensiv wie in atmosphärischer Luft erfolgt, wenn das Gas vermittelst der Luftpumpe oder durch Beimengung von Wasserstoff so verdünnt wird, dass es unter einem Drucke steht, welcher dem Partialdrucke des atmosphärischen Sauerstoffes entspricht oder selbst kleiner ist. — Ich zweifle nicht im mindesten, dass auch bei *Avena, Hordeum* etc. ein weiteres Wachsthum auf Kosten anorganischer Nährstoffe, selbst bei anderweitig möglichst günstigen Bedingungen, in reinem Sauerstoffgase von gewöhnlicher Dichte nicht stattfindet. — Das Unvermögen von Keimlingen, in reinem Sauerstoffgase von gewöhnlicher Dichte auf Kosten von Reservenahrung zu wachsen, ist um so auffälliger, als die Consumtion dieses Gases von denselben in gleicher Stärke fortdauert, wie bei deren Cultur in atmosphärischer Luft.

Nachschrift.

Zu meiner Befriedigung ersehe ich aus den mir eben zugekommenen Compt. rend. vom 16. Juni d. J. tom. 76 pag. 1493, dass Herr Bert bei seinen Vegetationsversuchen unter verschiedenem Luftdrucke zu ganz ähnlichen Resultaten wie ich gekommen ist.